

# PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 09-120154

(43)Date of publication of application : 06.05.1997

(51)Int.Cl.

G03F 1/08  
G02B 5/30  
H01L 21/027

(21)Application number : 07-277387

(71)Applicant : HITACHI LTD

(22)Date of filing : 25.10.1995

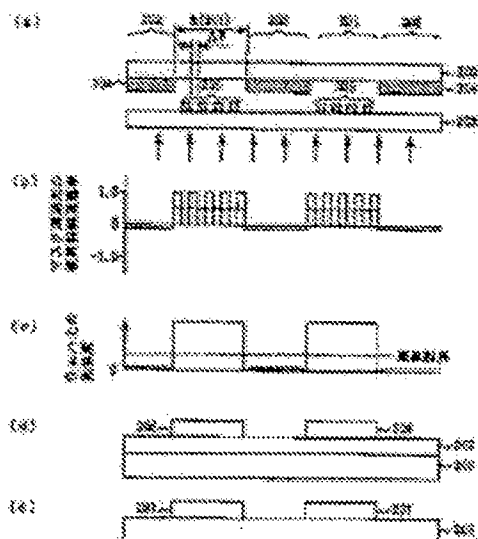
(72)Inventor : FUKUDA KENICHIRO  
OSHIDA YOSHITADA

## (54) POLARIZING MASK AND ITS PRODUCTION AS WELL AS PATTERN EXPOSURE METHOD AND PATTERN PROJECTION ALIGNER USING THE SAME

### (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To embody the resolution equiv. to or higher than the resolution of the conventional phase shift method without the formation of such patterns of which the design is infeasible.

**SOLUTION:** A half-tone phase shifter 204 is arranged on the outer or inner side of a fine pattern group which is formed on a mask and has a polarization characteristic. This mask is irradiated with annular band-shaped illumination light in such a manner that the polarization direction is made rotationally symmetrical with respect to the optical axis on the pupil of the projecting optical system of this illumination light, by which the phase shifter is exposed with the transmitted light. The mask is otherwise irradiated with the annular band-shaped illumination light in non-polarization state and the transmitted light is passed through an analyzer which is arranged on the pupil and is rotationally symmetrical in the polarization direction, by which the phase shifter is exposed.



(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平9-120154

(43)公開日 平成9年(1997)5月6日

(51)Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
G 0 3 F 1/08			G 0 3 F 1/08	A
G 0 2 B 5/30			G 0 2 B 5/30	
H 0 1 L 21/027			H 0 1 L 21/30	5 0 2 P 5 2 8

審査請求 未請求 請求項の数25 O L (全 22 頁)

(21)出願番号 特願平7-277387

(22)出願日 平成7年(1995)10月25日

(71)出願人 000005108

株式会社日立製作所

東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地

(72)発明者 福田 健一郎

神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地株式

会社日立製作所生産技術研究所内

(72)発明者 押田 良忠

神奈川県横浜市戸塚区吉田町292番地株式

会社日立製作所生産技術研究所内

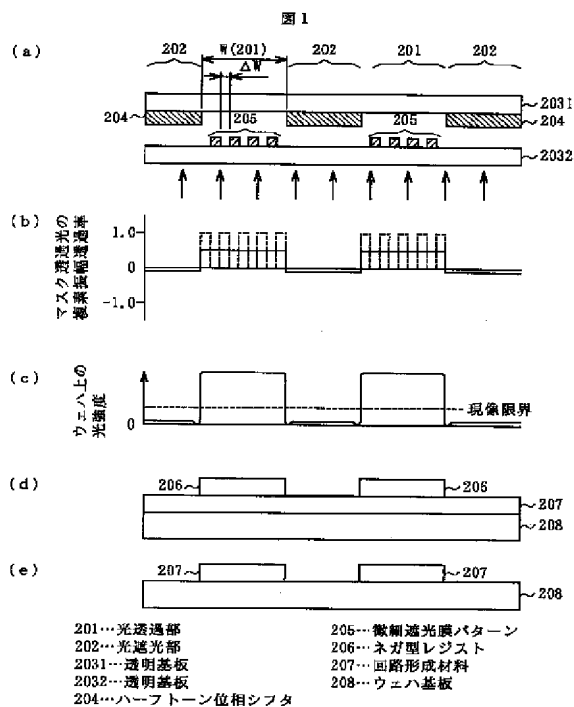
(74)代理人 弁理士 小川 勝男

(54)【発明の名称】 偏光マスク及びその製作方法及びそれを用いたパターン露光方法及びそれを用いたパターン投影露光装置

(57)【要約】 (修正有)

【課題】設計不可能となるようなパターンを発生させることなく、従来の位相シフト法と同等以上の解像度を実現する偏光マスク及びそれを用いた露光方法、並びにそれを用いた投影露光装置を提供する。

【解決手段】マスク上に形成される偏光特性を有する微細パターン群の外側又は内側にハーフトーン位相シフタ204を配置し、輪帯状の照明光を、その照明光の投影光学系の瞳上での偏光方向が光軸に対し回転対称になるようにして、マスクを照射し、透過光で露光する。または無偏光状態の輪帯状の照明光をマスクに照射し、透過光を瞳上に配置した、偏光方向が回転対称の検光子を通して露光する。



**【特許請求の範囲】**

【請求項1】マスク上のパターンの向く方向に応じた偏光特性を上記パターンを透過する照明光に付与するパターン依存性の偏光特性を付与する偏光マスクのパターンのエッジの接線方向と上記照明光の上記パターンを透過した光の偏光方向が概ね平行または概ね直交する偏光マスクにおいて、マスク上のパターンは照明光を透過する部分Aと、若干透過するがほぼ遮光する部分Bから成り、部分A及び部分Bを透過する光は互いに位相が180°異なり、被露光物体上での部分Aのエッジの光強度が零となることを特徴とする偏光マスク。

【請求項2】上記ほぼ遮光する部分Bの振幅透過率は上記透過する部分Aの振幅透過率に対し実効的に30%以下である請求項1に記載の偏光マスク。

【請求項3】上記ほぼ遮光する部分Bの振幅透過率は上記透過する部分Aの振幅透過率に対し実効的にほぼ22%である請求項2に記載の偏光マスク。

【請求項4】上記ほぼ遮光する部分Bは上記透過する部分Aの近くに限定して存在する請求項1に記載の偏光マスク。

【請求項5】上記透過する部分Aと上記ほぼ遮光する部分Bがそれぞれ別々の透明基板上に形成され、空気層を挟んで互いに向き合っている請求項4に記載の偏光マスク。

【請求項6】上記ほぼ遮光する部分Bのうち、位相が部分Aと180°異なる材料のみが部分Bの残り及び部分Aと空気層を挟んで互いに向き合い、それぞれ別々の透明基板上に形成されている請求項4に記載の偏光マスク。

【請求項7】上記別々の透明基板にマスク重ね合わせマークを空気層を挟んで互いに向き合わせて形成した請求項5または6に記載の偏光マスク。

【請求項8】上記透過する部分A及び上記ほぼ遮光する部分Bが同一透明基板の同一面上に形成されている請求項4に記載の偏光マスク。

【請求項9】照明光を完全に遮光する部分Cが上記ほぼ遮光する部分Bの近くに限定して存在する請求項4に記載の偏光マスク。

【請求項10】マスク上のパターンの向く方向に応じた偏光特性を上記パターンを透過する照明光に付与せしめるパターン依存性の偏光特性を付与する偏光マスクのパターンのエッジの接線方向と上記照明光の上記パターンを透過した光の偏光方向が概ね平行または概ね直交する偏光マスクにおいて、上記偏光特性を付与する手段は微小スリット構造からなることを特徴とする偏光マスク。

【請求項11】上記微小スリット構造はパターン透過部エッジの線に沿って微細な単数若しくは複数の細い線が形成されている構造からなる請求項10に記載の偏光マスク。

【請求項12】上記微小スリット構造の微細な単数若し

くは複数の細い線は導電性である請求項11に記載の偏光マスク。

【請求項13】上記微小スリットの開口部の幅は露光波長入の約1/2以下である請求項12に記載の偏光マスク。

【請求項14】上記微小スリット構造の微細な単数若しくは複数の細い線はマスクの中に存在している請求項11に記載の偏光マスク。

【請求項15】マスク上のパターンの向く方向に応じた偏光特性を上記パターンを透過する照明光に付与せしめるパターン依存性の偏光特性を付与する偏光マスクのパターンのエッジの接線方向と上記照明光の上記パターンを透過した光の偏光方向が概ね平行または概ね直交する偏光マスクの製作方法において、上記偏光特性を付与する手段は透明基板の透明膜に集束イオンビームを用いて微細な溝を単数若しくは複数彫り、導電性材料をスパッタ法により蒸着し、研磨により微細な単数若しくは複数の細い溝のみを残すことにより得られることを特徴とする偏光マスクの製作方法。

【請求項16】露光用照明光源からの光を所望の原画パターンが描画されたマスク若しくはレティクルに所望の指向性を有して照射し、上記マスクの透過光を投影光学系を通して被露光物体上に投影し、上記原画パターンからの像を露光するパターン露光方法において、上記マスク上のパターンの向く方向に応じた偏光特性を上記パターンを透過した該照明光に付与しめる請求項1ないし15のいずれかに記載の偏光マスクを用いるパターン露光方法。

【請求項17】上記照明光の指向性は輪帯照明あるいは射方照明であることを特徴とする請求項16に記載のパターン露光方法。

【請求項18】上記投影光学系の瞳上の、上記照明は上記マスクが無い場合にはその偏光状態が瞳中心に対し概ね回転対称である請求項16または17に記載のパターン露光方法。

【請求項19】上記投影光学系の瞳近くに偏光状態が瞳中心に対し概ね回転対称である偏光素子若しくは検光素子を配置した請求項16または17に記載のパターン露光方法。

【請求項20】上記輪帯照明あるいは射方照明の指向性は、この照明光により照明されたマスク上の最小パターンからの回折光の±1次光のうち一方は上記投影光学系の瞳を通り、他方は瞳を通らないようにした請求項17に項記載のパターン露光方法。

【請求項21】上記照明光は通常照明で、その指向性 $\alpha$ は0.5以上であり、上記照明光は上記マスクが無い場合その偏光状態が瞳中心に対し概ね回転対称である請求項16に記載のパターン露光方法。

【請求項22】露光照明光源と所望の原画パターンが描画されたマスク若しくはレティクルと上記光源より出射

した光を上記マスクに所望の指向性を有して照射せしめる照明光学系と、上記マスクの透過光を被露光物体上に投影する投影光学系とよりなるパターン露光装置において、上記マスクが無い場合には上記照明光の上記投影光学系の瞳上での偏光状態が瞳中心に対し概ね回転対称とならしめる偏光手段を具備したことを特徴とするパターン投影露光装置。

【請求項23】上記照明光学系は輪帯照明あるいは射方照明を実現する変形照明手段を具備した請求項22に記載のパターン投影露光装置。

【請求項24】上記偏光手段は上記照明光学系内に実効的に含まれる請求項22または23に記載のパターン投影露光装置。

【請求項25】上記偏光手段は上記投影光学系内に含まれる請求項22または23に記載のパターン投影露光装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は微細な回路パターンを形成するのに用いる偏光マスク及びこの偏光マスクを用いた露光方法及び投影露光装置に係り、特に、露光に用いる光の回折限界で決まるパターン寸法の限界に近い線幅のパターンの露光に関する。

【0002】

【従来の技術】半導体集積回路の微細化が進み、光の回折限界により決まる露光可能な最小線幅の領域に近づいてきている。このため、近年、超解像技術と呼ばれる各種の工夫がマスク及び投影露光装置に対して行われている。露光光学系の解像度 $R$ が、露光波長を $\lambda$ 、投影光学系の開口数を $NA$ とすると $R = k_1 \lambda / NA$ で決まり、従来 $k_1$ は概ね0.6～0.8程度が限界と考えられていた。

【0003】各種の工夫はこの限界を超え、しかも微細化に伴い益々厳しくなる焦点震度の減少の問題もある程度解決できる方法として注目されてきた。その代表的な技術として、位相シフト法（マスクに工夫）、輪帯照明法、対角斜方照明法、（投影露光装置に工夫）等が検討されてきた。

【0004】の方法を用いれば、図29（a）、（b）、（c）に示すように繰返しパターンの隣接パターン間でマスクパターンの透過光の位相が互いに180°ずれるようにすることにより、投影光学系で結像されたパターンの隣接パターン間での光強度が0に成り、繰返しパターン間の分離が非常に良好にできる。しかしこの方法は、図30（a）、（b）、（c）に示すような2次元的なパターンになったときに、隣接パターン間で必ずしも位相を180°変えることができないため、従来の露光方法以上に解像しない部分が発生してしまう。このことはパターンを設計する上で非常に大きな制約になり、設計不可能なパターンが発生する。

【0005】の方法は従来の露光方法では図31

（a）に示すように照明光の指向性 $\sigma$ （投影光学系の瞳径 $D$ に対するこの瞳上の照明光の広がり $d$ の比、即ち、 $\sigma = d/D$ ）が0.5程度にしていたのに対し、図31（b）に示すように瞳上での照明光の広がりを輪帯状にし、この輪帯の外径と内径を瞳径 $D$ に対しそれぞれ、例えば、0.7と0.5程度にすることにより、パターンの高周波部分のMTF（Modulation Transfer Function）を高くしている。この結果従来の照明に比べ、高解像になるが、の位相シフト法に比べ解像が低い。

【0006】の方法は投影光学系の瞳上の照明光の広がりを図31（c）に示すように4点対角に配置している。このようにすることにより、図中の $x$   $y$ 方向パターンに対してはの輪帯照明に比べ解像度が低く、また従来の $\sigma = 0.5$ の従来照明に比べても解像度が低くなってしまう。

【0007】

【発明が解決しようとする課題】本発明は上記従来の方法、特に現在盛んに研究されている上記各種超解像法の上記課題を解決しようとするものである。

【0008】ここで課題を整理すると以下のようになる。の従来の位相シフト法は現在の超解像法の中では最高の解像度を得る方法であるが、この解像度を維持しようとする、2次元パターンのような設計不可能なパターンが存在するため、LSI設計製作上大きな障害となる。の輪帯照明法はの方法に比べ高い解像度が得られない。の方法はに比べて解像度が低く、に比べると $x$   $y$ 方向のパターンの解像度は高いが $x$   $y$ と45°のパターンの解像度が著しく悪くなる。

【0009】本発明の目的は、の従来の位相シフト法と同等以上の解像度を設計不可能となるようなパターンを発生させずに実現する偏光マスク及びそれを用いた露光方法及びそれを用いた投影露光装置を提供することにある。

【0010】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明では露光用照明光源からの光を所望の原画パターンが描画された偏光マスク（もしくは偏光レティクル）に所望の指向性を有して照射し、上記偏光マスクの透過光もしくは反射光を投影光学系を通して被露光物体上に投影し、上記原画パターンからの像を露光する際に以下の手段を施す。

【0011】即ち、上記照明光の指向性は所謂輪帯照明あるいは射方照明とし、上記偏光マスク上のパターンの向く方向に応じた偏光特性をこのパターンを透過した照明光に付与せしめるパターン依存の偏光マスクを用いる。この時、更に上記投影光学系の瞳上の、上記輪帯照明あるいは射方照明の露光光は上記偏光マスクが無い場合にはその偏光状態が瞳中心に対し概ね回転対称にする。また、上記投影光学系の瞳の近くに偏光状態が

瞳中心に対し概ね回転対称である偏光素子（もしくは検光素子）を配置すると良い。

【0012】上記パターン依存の偏光マスクとして、マスク上のパターンのエッジの接線方向と上記照明光のこのパターンを透過した光の偏光方向が概ね平行であるか又は直交するマスクを用いる。更にマスク上のパターンは照明光を透過する部分Aと若干透過するが、ほぼ遮光する部分Bから成る上記偏光マスクを用いることにより上記目的が達成できる。この時上記AとBの部分に対し、上記ほぼ遮光する部分Bの振幅透過率は上記透過する部分Aの振幅透過率に対し30%以下にすると良い。また、上記輪帯照明あるいは射方照明の指向性は、この照射光により照明された偏光マスク上の最小パターンからの回折光の±1次光のうち一方は上記投影光学系の瞳を通り、他方は瞳を通らないようにしている。

【0013】上記偏光マスク上の偏光特性を付与する手段は微小スリット構造を用いて実現することができる。上記微小スリット構造はパターン透過部のエッジの線に沿って微細な単数もしくは複数の細い線が描画されている構造にする。この微細な線の幅は照明光の波長 $\lambda$ の約1/2以下にすると良い。更にこの細い線は導電性に優れ、露光光の波長によらず複素屈折率 $n$ 、光吸収係数 $k$ が安定している材料にすると良い。

【0014】上述の方法を用いることにより、従来の位相シフト法では実現不可能なパターン構造の微細な半導体集積回路を露光する。また従来の照明光の指向性は、いわゆる、輪帯照明あるいは射方照明では解像不可能で、なおかつパターンの方向の制約のない微細な半導体集積回路を露光する。

【0015】即ち、この微細な半導体集積回路のパターンは少なくとも繰返しパターンを含み、この繰返しパターンの線幅 $W$ または繰返しピッチ $p$ は、露光波長を $\lambda$ 、投影光学系の開口数を $NA$ としたときに、 $0.25\lambda/NA < W < 0.5\lambda/NA$ または $0.5\lambda/NA < p < 1.0\lambda/NA$ を満たしている。また、この微細な半導体集積回路のパターンは、直交する2方向とはほぼ45°の角度を有するパターンを含み、かつ従来の位相シフト法では露光不可能なパターンを含み、かつ繰返しパターンを含み、繰返しパターンの線幅 $W$ または繰返しピッチ $p$ は、露光波長を $\lambda$ 、投影光学系の開口数を $NA$ とした時、 $0.25\lambda/NA < W < 0.5\lambda/NA$ または $0.5\lambda/NA < p < 1.0\lambda/NA$ を満たしている。

【0016】本発明の作用を図32ないし図36を用いて説明する。

【0017】図32に示すように $y$ 方向に長いパターンの場合、このパターンが $y$ 方向に振動する直線偏光を通し、 $x$ 方向の直線偏光は通さないとする。このパターンが描画された偏光マスクを照射する照明光の指向性は、いわゆる、輪帯照明あるいは射方照明になっており、例えば、図に示す輪帯照明の場合このパターンを照射する

各方向からの光束 $B_1$ 、 $B_2$ 、 $B_3$ 、 $B_4$ 、 $B_5$ 、 $B_6$ 、 $B_7$ 、 $B_8$ を考えると、これらの光は偏光マスクがない場合、それぞれ投影レンズの瞳上の $B_1'$ 、 $B_2'$ 、 $B_3'$ 、 $B_4'$ 、 $B_5'$ 、 $B_6'$ 、 $B_7'$ 、 $B_8'$ の位置に至る。

【0018】今八つの光束の偏光が投影光学系の光軸に垂直で、光軸を通る線に直交するようにしておけば、これら八つの光束のうち $B_1$ と $B_5$ の光束は $y$ 方向のパターンを透過するが、 $B_3$ と $B_7$ の光束はこのパターンをほとんど透過しない。又中間にある $B_2$ 、 $B_4$ 、 $B_6$ 、 $B_8$ はほぼ1/2透過することになる。 $B_1$ と $B_5$ の光束はパターンを通過後、その主光線は投影光学系の瞳上 $B_1''$ と $B_5''$ に至り、0次光 $B_1'$ と $B_5'$ の周りの $x$ 方向に回折光が広がる。

【0019】この $x$ 方向の回折光が広い範囲で瞳を透過できれば、高い解像が得られることが良く知られている。従って、本発明では $B_1$ と $B_5$ の光束は、 $y$ 方向のパターンをほとんど通過し、高い解像度を与え、 $B_3$ と $B_7$ の光束は、この説明から明らかにわかるように、瞳上の回折光の狭い範囲しか通過せず解像度を落としてしまうが、この光束はほとんどこのパターンを通過しないため、解像度を落とすことなく、微細パターンを露光することが可能となる。また $B_2$ 、 $B_4$ 、 $B_6$ 、 $B_8$ の光は従来の照明光であり、 $B_1$ と $B_5$ の光束ほどには解像度は良くないが、通過光の強度は1/2になっているため、 $B_1$ と $B_5$ の光束による解像度が支配的となる。

【0020】以上の説明からもわかるように、本発明では最も解像度が高くなる照明光のみが有効に使われるため、従来の方法では達成できなかった解像度を得られるようになる。また上述の照明光の偏光性とパターン方向による偏光透過特性により、 $y$ 方向のパターンに限らず任意の方向を向いたパターンに対しても同様に高解像を実現する。このパターンの方向や並び方に依存せず高い解像度を得られることは従来の位相シフト法では実現しなかったことである。

【0021】本発明の作用を従来の超解像法と比較するため、の方法と本発明により得られるパターンの解像状況をシミュレーションにより求めたものとを図33、図34、図35、図36に示す。本発明の効果を示すため、露光するパターン幅は $0.25\mu\text{m}$ 、露光は水銀ランプの*i*線で波長は365nm、投影光学系の開口数 $NA$ は0.57である。図33は輪帯照明の場合の解像状況であり、合焦点の位置でもパターンの分離が悪いことがわかる。

【0022】図34は $xy$ 方向のパターンに対するの斜方照明の場合の解像状況であり、輪帯照明の場合に比べれば改善されているが、 $0.5\mu\text{m}$ のデフォーカスでパターン分離が悪くなる。しかし、図35の $xy$ 方向に45°のパターンの解像状況では、輪帯照明に比べ解像が劣化している。図36は本発明の露光方法で通常のマ

スク、即ち、図33、34及び35で用いた透過部と遮光部の透過率の比が無限大の場合のマスクで得られるパターンの解像状況であり、図33、図34及び図35に比べ広い焦点範囲で良好な像が得られていることがわかる。

【0023】マスク上のパターンが照明光を透過する部分Aと若干透過するが、ほぼ遮光する部分Bから成り、A及びBを透過する光は互いに位相が $180^\circ$ 異なるマスクを用い、このマスクに輪帯照明或は射方照明することにより更に解像度が向上する。この時、AとBの部分に対し、ほぼ遮光する部分Bの複素振幅透過率を透過する部分Aの複素振幅透過率に対し30%以下にすると高い解像度が得られる。特に22%にすると、最もパターン間の分離が良くなる。

【0024】これは輪帯照明或は射方照明による0次光と1次光がマスクの遮光部の複素振幅透過率が22%になったとき両光の強度が互いにほぼ等しくなり、両光による干渉のコントラストが最も大きく、即ち繰返しパターンの分離が最も良くなるためである。

【0025】また本発明のマスクを用い、仮にマスクが無いとした時の照明光の投影光学系の瞳上の偏光状態が瞳中心に対し概ね回転対称であるようにすれば、輪帯照明或は射方照明を用いなくても従来方法で得られる解像度より良好なパターンを露光することが可能となる。特に、この場合、照明の指向性 $\sigma$ が大きな場合でも、従来起こっていた解像パターンの高周波領域のコントラストの相対的低下が発生せず、高い解像度で露光することが可能となる。

【0026】

【発明の実施の形態】図1は、本発明の実施例1であり、繰返しパターンをネガ型レジストを用いて形成する例である。図1(a)は本発明の偏光マスクの断面図である。図1(a)の下方より入射する照明光の透過光の複素振幅透過率を、図1(b)に示す。図1(c)はこの偏光マスクを原版として投影露光したときのウェハ上の光強度を示す。図1(d)はこの偏光マスクを原版として投影露光したときのウェハ上のネガレジストパターンの断面図を示す。図1(e)はこの偏光マスクを原版として投影露光したときのウェハ上の回路パターンの断面図を示す。

【0027】図1(a)のWはパターンの露光する光透過部201の中であり、この中に偏光特性を有する導電性の微細遮光膜パターン205が少なくとも1本存在する。この本数は光透過部201の開口部の幅 $\Delta w$ が露光波長の $1/2$ 程度になるように選択される。微細遮光膜パターン205にはアルミ、スズ等の導電性に優れ、波長に依らず複素屈折率 $n$ 、光吸収係数 $k$ が一定の遮光膜材料を用いる。

【0028】微細遮光膜パターン205は石英硝子等の透明基板2032にEB(Electron Beam)描画装置を用

いて形成する。ハーフトーン位相シフト204は微細遮光膜パターン205とは別の透明基板2031にEB描画装置を用いて形成され、この部分(光遮光部202)の光透過率は5~20%程度とする。ハーフトーン位相シフト204にはクロムの膜厚を薄くした吸収体(遮光部に相当する)と二酸化シリコン系シフトからなる異なる材料の2層構造のものや単一材料で単層若しくは多層のハーフトーンが使用される。材料はクロム系(CrO、CrON)、モリブデン系(MoSiO、MoSiON)、及び窒化シリコン系(SiN)がある。

【0029】透明基板2032の下方より入射する照明光は微細遮光膜パターン205のある部分でパターンのエッジ方向の偏光が透過し、透明基板2031上のハーフトーン位相シフト204のある部分は前記したように5~20%程度しか透過しない。ハーフトーン位相シフト204には $180^\circ$ の位相シフトが設けられているため、この偏光マスクを透過直後の光の複素振幅透過率は図1(b)のようになる。光透過部201の部分の複素振幅透過率は微細遮光膜パターン205のある部分は複素振幅が0となるため、理論上は点線で示したような透過率分布となるが、微細遮光膜パターン205は露光波長では解像しないため、実際には実線で示したような分布となる。

【0030】また、微細遮光膜パターン205の一番外側のパターンとハーフトーン位相シフト204との境界の部分は、ハーフトーン位相シフト204の透過率を制御することにより、図23に示すようにコントラストを向上させることができる。したがって、全体としては解像したいパターンの幅Wのエッジの部分のコントラストの大きな複素振幅透過率となる。

【0031】光強度分布は複素振幅透過率の2乗に比例するため、ウェハ上の光強度は図1(c)のようになる。ハーフトーン位相シフト204でほぼ遮光された部分の光強度は、ネガ型レジストの現像限界より低くなっているため、光透過部201の中Wの部分のみが現像時に残り、図1(d)に示すネガレジストパターンとなる。図1(d)に示すネガレジストパターンをエッチングしたものが図1(e)に示す回路パターンである。

【0032】このように、開口部の幅 $\Delta w$ が露光波長の $1/2$ 程度の微細遮光膜パターン205と透過率を制御したハーフトーン位相シフト204とを組み合わせることで、パターン分離の優れた高い解像度のパターンを露光することが可能となる。

【0033】また、位相シフト材料を透明基板2031、ハーフトーン材料を透明基板2032に形成した例や、一枚の透明基板の同一面上にハーフトーン位相シフト204と微細遮光膜パターン205を形成した例でも図1と同じ効果が得られる。ポジ型レジストを使用したときも図1と同じ効果が得られる。

【0034】図2(a)、(b)は図1の偏光マスクの

平面図、図2(c)は図1の偏光マスクを原版として投影露光したときのウェハ上の回路パターンの平面図である。

【0035】図2(a)に示すように、透明基板2031にはハーフトーン位相シフト204とマスク重ね合わせマーク210が形成されている。図2(b)の透明基板2032には微細遮光膜パターン205とマスク重ね合わせマーク210が形成されている。したがって、透明基板2031、2032を重ね合わせて露光する際に、それぞれのマスク重ね合わせマーク210の中心座標を読み取り、重ね合わせ測定装置であらかじめ位置決めしておけば、ハーフトーン位相シフト204と微細遮光膜パターン205との相対的な位置ずれが発生しなくなり、図2(c)に示すように、パターン分離の優れた高い解像度のパターンを露光することが可能となる。

【0036】図3は本発明の実施例2であり、繰返しパターンをネガ型レジストを用いて形成する例である。図3(a)は本発明の偏光マスクの断面図である。図3(a)の下方より入射する照明光の透過光の複素振幅透過率を、図3(b)に示す。図3(c)はこの偏光マスクを原版として投影露光したときのウェハ上の光強度を示す。図3(d)はこの偏光マスクを原版として投影露光したときのウェハ上のネガレジストパターンの断面図を示す。図3(e)はこの偏光マスクを原版として投影露光したときのウェハ上の回路パターンの断面図を示す。

【0037】図3(a)のWはパターンの露光する光透過部201の中であり、この中に偏光特性を有する導電性の微細遮光膜パターン205が少なくとも1本存在する。この本数は光透過部201の開口部の幅 $\Delta w$ が露光波長の $1/2$ 程度になるように選択される。

【0038】微細遮光膜パターン205は透明基板2032にEB描画装置を用いて形成する。ハーフトーン位相シフト204は微細遮光膜パターン205とは別の透明基板2031にEB描画装置を用いて形成され、この部分(光遮光部202)の光透過率は5~20%程度とする。さらに透明基板2032の微細遮光膜パターン205のある面に遮光膜パターン211をやや離れた位置に同じ方法で形成する。遮光膜パターン211には微細遮光膜パターン205と同一の材料を使用する。遮光膜パターン211の内側のエッジがハーフトーン位相シフト204の内側のエッジよりも少し外側になるように配置する。

【0039】透明基板2032の下方より入射する照明光は微細遮光膜パターン205のある部分でパターンのエッジ方向の偏光が透過し、透明基板2031上のハーフトーン位相シフト204のある部分は前記したように5~30%程度しか透過しない。ハーフトーン位相シフト204には $180^\circ$ の位相シフトが設けられているため、この部分の光の位相は反転する。また、遮光膜パ

ターン211が配置されている部分は複素振幅が0となる。

【0040】この偏光マスクを透過直後の光の複素振幅透過率は図3(b)のようになる。光透過部201の部分の複素振幅透過率は微細遮光膜パターン205のある部分は複素振幅が0となるため、理論上は点線で示したような透過率分布となるが、微細遮光膜パターン205は露光波長では解像しないため、実際には実線で示したような分布となる。

【0041】微細遮光膜パターン205の外側及び内側のパターンとハーフトーン位相シフト204との境界の部分は、ハーフトーン位相シフト204の透過率を制御することにより、図23に示すようにコントラストを向上させることができる。したがって、全体としては解像したいパターンの幅Wのエッジの部分のコントラストの大きな複素振幅透過率となる。

【0042】光強度分布は複素振幅透過率の2乗に比例するため、ウェハ上の光強度は図3(c)のようになる。ハーフトーン位相シフト204でほぼ遮光された部分の光強度は、ネガ型レジストの現像限界より低くなっているため、光透過部201の中Wの部分は現像時に残り、図3(d)に示すネガレジストパターンとなる。図3(d)に示すネガレジストパターンをエッチングしたものが図3(e)に示す回路パターンである。

【0043】このように、開口部の幅 $\Delta w$ が露光波長の $1/2$ 程度の微細遮光膜パターン205及び遮光膜パターン211と透過率を制御したハーフトーン位相シフト204とを組み合わせることにより、外側の繰返しパターン部分のコントラストが高くなり、分離の優れた高い解像度のパターンを露光することが可能となる。

【0044】また、位相シフト材料を透明基板2031、遮光膜パターン211が載ったハーフトーン材料を透明基板2032に形成した例や、一枚の透明基板の同一面上に遮光膜パターン211が載ったハーフトーン位相シフト204と微細遮光膜パターン205を形成した例でも図3と同じ効果が得られる。ポジ型レジストを使用したときも図3と同じ効果が得られる。

【0045】図4(a)、(b)は図3の偏光マスクの平面図である。図4(c)は図3の偏光マスクを原版として投影露光したときのウェハ上の回路パターン平面図である。図4(a)に示すように、透明基板2031にはハーフトーン位相シフト204とマスク重ね合わせマーク210が形成されている。図4(b)の透明基板2032には微細遮光膜パターン205及び遮光膜パターン211とマスク重ね合わせマーク210が形成されている。したがって、透明基板2031、2032を重ね合わせて露光する際に、それぞれのマスク重ね合わせマーク210の中心座標を読み取り、重ね合わせ測定装置であらかじめ位置決めしておけば、ハーフトーン位相シフト204と微細遮光膜パターン205及び遮光膜パ

ターン211との相対的な位置ずれが発生しなくなり、図4(c)に示すようなパターン分離の優れた高い解像度のパターンを露光することが可能となる。

【0046】図5は本発明の実施例3であり、繰返しパターンをネガ型レジストを用いて形成する例である。図5(a)は本発明の偏光マスクの断面図である。図5(a)の下方より入射する照明光の透過光の複素振幅透過率を、図5(b)に示す。図5(c)はこの偏光マスクを原版として投影露光したときのウェハ上の光強度を示す。図5(d)はこの偏光マスクを原版として投影露光したときのウェハ上のネガレジストパターンの断面図を示す。図5(e)はこの偏光マスクを原版として投影露光したときのウェハ上の回路パターンの断面図を示す。

【0047】図5(a)のWはパターンの露光する光透過部201の中であり、この中に偏光特性を有する導電性の微細遮光膜パターン205が少なくとも1本存在する。この本数は光透過部201の開口部の幅 $\Delta w$ が露光波長の $1/2$ 程度になるように選択される。

【0048】まず最初に透明基板203に透明膜材料212をスパッタ法により蒸着する。蒸着膜厚は微細遮光膜パターン205の偏光特性を良くするために、 $d_1 = 1 \mu\text{m}$ 以上とする。次に収束イオンビーム加工装置により、微細遮光膜パターン205用の微細ラインを彫る。微細ライン加工終了後、アルミ、スズ等の導電性に優れた、波長に依らず複素屈折率 $n$ 、光吸収係数 $k$ が一定の遮光膜材料をスパッタ法により蒸着する。この後、CMP (Chemical Mechanical Polishing) 等の研磨加工を行い、微細ライン部分のみに遮光膜材料が残るようにする。ハーフトーン位相シフト204は透明膜材料212の上にEB描画装置を用いて形成され、この部分(光遮光部202)の光透過率は5~20%程度とする。また膜厚 $d_2$ は透明膜材料212の膜厚 $d_1$ の $1/10$ 程度とする。

【0049】透明基板203の下方より入射する照明光は微細遮光膜パターン205のある部分でパターンのエッジ方向の偏光が透過し、透明膜材料212の上のハーフトーン位相シフト204のある部分は前記したように5~20%程度しか透過しない。ハーフトーン位相シフト204には $180^\circ$ の位相シフトが設けられているため、この部分の光の位相は反転する。

【0050】この偏光マスクを透過直後の光の複素振幅透過率は図5(b)のようになる。光透過部201の部分の複素振幅透過率は微細遮光膜パターン205のある部分は複素振幅が0となるため、理論上は点線で示したような透過率分布となるが、微細遮光膜パターン205は露光波長では解像しないため、実際には実線で示したような分布となる。

【0051】微細遮光膜パターン205の外側及び内側のパターンとハーフトーン位相シフト204との境界の

部分は、ハーフトーン位相シフト204の透過率を制御することにより、図23に示すようにコントラストを向上させることができる。したがって、全体としては解像したいパターンの幅Wのエッジの部分のコントラストの大きな複素振幅透過率となる。

【0052】光強度分布は複素振幅透過率の2乗に比例するため、ウェハ上の光強度は図5(c)のようになる。ハーフトーン位相シフト204でほぼ遮光された部分の光強度は、ネガ型レジストの現像限界より低くなっているため、光透過部201の中Wの部分は現像時に残り、図5(d)に示すネガレジストパターンとなる。図5(d)に示すネガレジストパターンをエッチングしたものが図5(e)に示す回路パターンである。

【0053】このように、開口部の幅 $\Delta w$ が露光波長の $1/2$ 程度の微細遮光膜パターン205を含む透明膜材料212と、透過率を制御したハーフトーン位相シフト204とを組み合わせることで、分離の優れた高い解像度のパターンを露光することが可能となる。

【0054】また、ポジ型レジストを使用したときも図5と同じ効果が得られる。

【0055】図6(a)は図5の偏光マスクの平面図、図6(b)は図5の偏光マスクを原版として投影露光したときのウェハ上の回路パターンの平面図である。

【0056】図6(a)に示すように、透明基板203には微細遮光膜パターン205を含む透明膜材料212とハーフトーン位相シフト204とが形成されている。したがって、透明基板203をそのまま露光すれば、図6(b)に示すようなパターン分離の優れた高い解像度のパターンを露光することが可能となる。

【0057】図7は本発明の実施例4であり、繰返しパターンをネガ型レジストを用いて形成する例である。図7(a)は本発明の偏光マスクの断面図である。図7(a)の下方より入射する照明光の透過光の複素振幅透過率を、図7(b)に示す。図7(c)はこの偏光マスクを原版として投影露光したときのウェハ上の光強度を示す。図7(d)はこの偏光マスクを原版として投影露光したときのウェハ上のネガレジストパターンの断面図を示す。図7(e)はこの偏光マスクを原版として投影露光したときのウェハ上の回路パターンの断面図を示す。

【0058】図7(a)のWはパターンの露光する光透過部201の中であり、この中に偏光特性を有する導電性の微細遮光膜パターン205が少なくとも1本存在する。この本数は光透過部201の開口部の幅 $\Delta w$ が露光波長の $1/2$ 程度になるように選択される。

【0059】透明基板203に透明膜材料212、微細遮光膜パターン205及びハーフトーン位相シフト204を図5と同様の方法で形成する。さらに、ハーフトーン位相シフト204の上に遮光膜パターン211をEB描画装置にて形成する。遮光膜パターン211の内側の



エッジはハーフトーン位相シフト204の内側のエッジよりも外側に配置する。

【0060】透明基板203の下方より入射する照明光は微細遮光膜パターン205のある部分でパターンのエッジ方向の偏光が透過し、透明膜材料212の上のハーフトーン位相シフト204のある部分は前記したように5～20%程度しか透過しない。ハーフトーン位相シフト204には180°の位相シフトが設けられているため、この部分の光の位相は反転する。また、遮光膜パターン211が設けられている部分は完全に遮光されているため、複素振幅は0となる。

【0061】この偏光マスクを透過直後の光の複素振幅透過率は図7(b)のようになる。光透過部201の部分の複素振幅透過率は微細遮光膜パターン205のある部分は複素振幅が0となるため、理論上は点線で示したような透過率分布となるが、微細遮光膜パターン205は露光波長では解像しないため、実際には実線で示したような分布となる。

【0062】微細遮光膜パターン205の外側及び内側のパターンとハーフトーン位相シフト204との境界の部分は、ハーフトーン位相シフト204の透過率を制御することにより、図23に示すようにコントラストを向上させることができる。したがって、全体としては解像したいパターンの幅Wのエッジの部分のコントラストの大きな複素振幅透過率となる。

【0063】光強度分布は複素振幅透過率の2乗に比例するため、ウェハ上の光強度は図7(c)のようになる。ハーフトーン位相シフト204でほぼ遮光された部分の光強度は、ネガ型レジストの現像限界より低くなっているため、光透過部201の中Wの部分は現像時に残り、図7(d)に示すネガレジストパターンとなる。図7(d)に示すネガレジストパターンをエッチングしたものが図7(e)に示す回路パターンである。

【0064】このように、開口部の幅 $\Delta w$ が露光波長の1/2程度の微細遮光膜パターン205を含む透明膜材料212と、透過率を制御したハーフトーン位相シフト204及び遮光膜パターン211とを組み合わせることにより、一番外側の繰返しパターンエッジ部分のコントラストが向上し、分離の優れた高い解像度のパターンを露光することが可能となる。

【0065】また、ポジ型レジストを使用したときも図7と同じ効果が得られる。

【0066】図8(a)は図7の偏光マスクの平面図、図8(b)は図7の偏光マスクを原版にして投影露光したときのウェハ上の回路パターンの平面図である。

【0067】図8(a)に示すように、透明基板203には微細遮光膜パターン205を含む透明膜材料212とハーフトーン位相シフト204及び遮光膜パターン211とが形成されている。したがって、透明基板203をそのまま露光すれば、図8(b)に示すようなパター

ン分離の優れた高い解像度のパターンを露光することが可能となる。

【0068】図9は、本発明の実施例5であり、孤立パターンをネガ型レジストを用いて形成する例である。図9(a)は本発明の偏光マスクの断面図である。図9(a)の下方より入射する照明光の透過光の複素振幅透過率を、図9(b)に示す。図9(c)はこの偏光マスクを原版として投影露光したときのウェハ上の光強度を示す。図9(d)はこの偏光マスクを原版として投影露光したときのウェハ上のネガレジストパターンの断面図を示す。図9(e)はこの偏光マスクを原版として投影露光したときのウェハ上の回路パターンの断面図を示す。

【0069】図9(a)のWはパターンの露光する光透過部201の中であり、この中に偏光特性を有する導電性の微細遮光膜パターン205が少なくとも1本存在する。この本数は光透過部201の開口部の幅 $\Delta w$ が露光波長の1/2程度になるように選択される。

【0070】微細遮光膜パターン205は透明基板2032にEB描画装置を用いて形成する。ハーフトーン位相シフト204は微細遮光膜パターン205とは別の透明基板2031にEB描画装置を用いて形成され、この部分(光遮光部202)の光透過率は5～20%程度とする。

【0071】透明基板2032の下方より入射する照明光は微細遮光膜パターン205のある部分でパターンエッジ方向の偏光が透過し、透明基板2031上のハーフトーン位相シフト204のある部分は前記したように5～20%程度しか透過しない。ハーフトーン位相シフト204には180°の位相シフトが設けられているため、この偏光マスクを透過直後の光の複素振幅透過率は図9(b)のようになる。光透過部201の部分の複素振幅透過率は微細遮光膜パターン205のある部分は複素振幅が0となるため、理論上は点線で示したような透過率分布となるが、微細遮光膜パターン205は露光波長では解像しないため、実際には実線で示したような分布となる。また、微細遮光膜パターン205の外側には、パターンが存在しないため、複素振幅透過率は100%となる。

【0072】微細遮光膜パターン205の一番外側のパターンとハーフトーン位相シフト204との境界の部分は、ハーフトーン位相シフト204の透過率を制御することにより、図23に示すようにコントラストを向上させることができる。したがって、全体としては解像したいパターンの幅Wのエッジの部分のコントラストの大きな複素振幅透過率となる。

【0073】光強度分布は複素振幅透過率の2乗に比例するため、ウェハ上の光強度は図9(c)のようになる。ハーフトーン位相シフト204でほぼ遮光された部分の光強度は、ネガ型レジストの現像限界より低くなっ

ているため、光透過部201の中Wの部分のみが現像時に残り、図9(d)に示すネガレジストパターンとなる。図9(d)に示すネガレジストパターンをエッチングしたものが図9(e)に示す回路パターンである。

【0074】このように、開口部の幅 $\Delta w$ が露光波長の $1/2$ 程度の微細遮光膜パターン205と透過率を制御したハーフトーン位相シフト204とを組み合わせることにより、パターン分離の優れた高い解像度のパターンを露光することが可能となる。また、位相シフト材料を透明基板2031、ハーフトーン材料を透明基板2032に形成した例や、一枚の透明基板の同一面上にハーフトーン位相シフト204と微細遮光膜パターン205を形成した例でも図9と同じ効果が得られる。

【0075】図10(a)、(b)は図9の偏光マスクの平面図である。

【0076】図10(a)に示すように、透明基板2031にはハーフトーン位相シフト204とマスク重ね合わせマーク210が形成されている。図10(b)の透明基板2032には微細遮光膜パターン205とマスク重ね合わせマーク210が形成されている。したがって、透明基板2031、2032を重ね合わせて露光する際に、それぞれのマスク重ね合わせマーク210の中心座標を読み取り、重ね合わせ測定装置であらかじめ位置決めしておけば、ハーフトーン位相シフト204と微細遮光膜パターン205との相対的な位置ずれが発生しなくなり、パターン分離の優れた高い解像度のパターンを露光することが可能となる。

【0077】図11は、本発明の実施例6であり、孤立パターンをネガ型レジストを用いて形成する例である。図11(a)は本発明の偏光マスクの断面図である。図11(a)の下方より入射する照明光の透過光の複素振幅透過率を、図11(b)に示す。図11(c)はこの偏光マスクを原版として投影露光したときのウェハ上の光強度を示す。図11(d)はこの偏光マスクを原版として投影露光したときのウェハ上のネガレジストパターンの断面図を示す。図11(e)はこの偏光マスクを原版として投影露光したときのウェハ上の回路パターンの断面図を示す。図11(a)のWはパターンの露光する光透過部201の中であり、この中に偏光特性を有する導電性の微細遮光膜パターン205が少なくとも1本存在する。この本数は光透過部201の開口部の幅 $\Delta w$ が露光波長の $1/2$ 程度になるように選択される。

【0078】微細遮光膜パターン205は透明基板2032にEB描画装置を用いて形成する。ハーフトーン位相シフト204は微細遮光膜パターン205とは別の透明基板2031にEB描画装置を用いて形成され、この部分(光遮光部202)の光透過率は5~20%程度とする。さらに透明基板2032の微細遮光膜パターン205のある面に遮光膜パターン211をやや離れた位置に同じ方法で形成する。遮光膜パターン211の内側の

エッジがハーフトーン位相シフト204の内側のエッジよりも少し外側になるように配置する。

【0079】透明基板2032の下方より入射する照明光は微細遮光膜パターン205のある部分でパターンのエッジ方向の偏光が透過し、透明基板2031上のハーフトーン位相シフト204のある部分は前記したように5~20%程度しか透過しない。ハーフトーン位相シフト204には $180^\circ$ の位相シフトが設けられているため、この部分の光の位相は反転する。また、遮光膜パターン211が配置されている部分は複素振幅が0となる。

【0080】この偏光マスクを透過直後の光の複素振幅透過率は図11(b)のようになる。光透過部201の部分の複素振幅透過率は微細遮光膜パターン205のある部分は複素振幅が0となるため、理論上は点線で示したような透過率分布となるが、微細遮光膜パターン205は露光波長では解像しないため、実際には実線で示したような分布となる。

【0081】微細遮光膜パターン205の外側のパターンとハーフトーン位相シフト204との境界の部分は、ハーフトーン位相シフト204の透過率を制御することにより、図23に示すようにコントラストを向上させることができる。したがって、全体としては解像したいパターンの幅Wのエッジの部分のコントラストの大きな複素振幅透過率となる。

【0082】光強度分布は複素振幅透過率の2乗に比例するため、ウェハ上の光強度は図11(c)のようになる。ハーフトーン位相シフト204でほぼ遮光された部分の光強度は、ネガ型レジストの現像限界より低くなっているため、光透過部201(W)の部分は現像時に残り、図11(d)に示すネガレジストパターンとなる。図11(e)に示すネガレジストパターンをエッチングしたものが図11(f)に示す回路パターンである。

【0083】このように、開口部の幅 $\Delta w$ が露光波長の $1/2$ 程度の微細遮光膜パターン205及び遮光膜パターン211と透過率を制御したハーフトーン位相シフト204とを組み合わせることにより、孤立パターンのエッジ部分のコントラストが高くなり、分離の優れた高い解像度のパターンを露光することが可能となる。

【0084】また、位相シフト材料を透明基板2031、遮光膜パターン211が載ったハーフトーン材料を透明基板2032に形成した例や、一枚の透明基板の同一面上に遮光膜パターン211が載ったハーフトーン位相シフト204と微細遮光膜パターン205を形成した例でも図11と同じ効果が得られる。

【0085】ポジ型レジストを使用したときも図11と同じ効果が得られる。

【0086】図12(a)、(b)は図11の偏光マスクの平面図である。図12(a)に示すように、透明基板2031にはハーフトーン位相シフト204とマスク

重ね合わせマーク210が形成されている。図12(b)の透明基板2032には微細遮光膜パターン205及び遮光膜パターン211とマスク重ね合わせマーク210が形成されている。したがって、透明基板2031、2032を重ね合わせて露光する際に、それぞれのマスク重ね合わせマーク210の中心座標を読み取り、重ね合わせ測定装置であらかじめ位置決めしておけば、ハーフトーン位相シフト204と微細遮光膜パターン205及び遮光膜パターン211との相対的な位置ずれが発生しなくなり、パターン分離の優れた高い解像度のパターンを露光することが可能となる。

【0087】図13は図11の偏光マスクを原版にして投影露光したときのウェハ上の孤立パターンの平面図である。

【0088】図14は、本発明の実施例7であり、孤立パターンをネガ型レジストを用いて形成する例である。図14(a)は本発明の偏光マスクの断面図である。図14(a)の下方より入射する照明光の透過光の複素振幅透過率を、図14(b)に示す。図14(c)はこの偏光マスクを原版として投影露光したときのウェハ上の光強度を示す。図14(d)はこの偏光マスクを原版として投影露光したときのウェハ上のネガレジストパターンの断面図を示す。図14(e)はこの偏光マスクを原版として投影露光したときのウェハ上の回路パターンの断面図を示す。図14(a)のWはパターンの露光する光透過部201の中であり、この中に偏光特性を有する導電性の微細遮光膜パターン205が少なくとも1本存在する。この本数は光透過部201の開口部の幅 $\Delta w$ が露光波長の $1/2$ 程度になるように選択される。

【0089】透明基板203に透明膜材料212、微細遮光膜パターン205及びハーフトーン位相シフト204を図5と同様の方法で形成する。

【0090】透明基板203の下方より入射する照明光は微細遮光膜パターン205のある部分でパターンのエッジ方向の偏光が透過し、透明膜材料212の上のハーフトーン位相シフト204のある部分は前記したように5~20%程度しか透過しない。ハーフトーン位相シフト204には $180^\circ$ の位相シフトが設けられているため、この部分の光の位相は反転する。

【0091】この偏光マスクを透過直後の光の複素振幅透過率は図14(b)のようになる。光透過部201の部分の複素振幅透過率は微細遮光膜パターン205のある部分は複素振幅が0となるため、理論上は点線で示したような透過率分布となるが、微細遮光膜パターン205は露光波長では解像しないため、実際には実線で示したような分布となる。

【0092】微細遮光膜パターン205の外側のパターンとハーフトーン位相シフト204との境界の部分は、ハーフトーン位相シフト204の透過率を制御することにより、図23に示すようにコントラストを向上させる

ことができる。したがって、全体としては解像したいパターンの幅Wのエッジの部分のコントラストの大きな複素振幅透過率となる。

【0093】光強度分布は複素振幅透過率の2乗に比例するため、ウェハ上の光強度は図14(c)のようになる。ハーフトーン位相シフト204でほぼ遮光された部分の光強度は、ネガ型レジストの現像限界より低くなっているため、光透過部201の中Wの部分は現像時に残り、図14(d)に示すネガレジストパターンとなる。図14(d)に示すネガレジストパターンをエッチングしたものが図14(e)に示す回路パターンである。

【0094】このように、開口部の幅 $\Delta w$ が露光波長の $1/2$ 程度の微細遮光膜パターン205を含む透明膜材料212と、透過率を制御したハーフトーン位相シフト204とを組み合わせることにより、分離の優れた高い解像度のパターンを露光することが可能となる。

【0095】図15(a)は図14の偏光マスクの平面図、図15(b)は図14の偏光マスクを原版にして投影露光したときのウェハ上の回路パターンの平面図である。

【0096】図15(a)に示すように、透明基板203には微細遮光膜パターン205を含む透明膜材料212とハーフトーン位相シフト204とが形成されている。したがって、透明基板203をそのまま露光すれば、図15(b)に示すようなパターン分離の優れた高い解像度のパターンを露光することが可能となる。

【0097】図16は、本発明の実施例8であり、孤立パターンをネガ型レジストを用いて形成する例である。図16(a)は本発明の偏光マスクの断面図である。図16(a)の下方より入射する照明光の透過光の複素振幅透過率を、図16(b)に示す。図16(c)はこの偏光マスクを原版として投影露光したときのウェハ上の光強度を示す。図16(d)はこの偏光マスクを原版として投影露光したときのウェハ上のネガレジストパターンの断面図を示す。図16(e)はこの偏光マスクを原版として投影露光したときのウェハ上の回路パターンの断面図を示す。図16(a)のWはパターンの露光する光透過部201の中であり、この中に偏光特性を有する導電性の微細遮光膜パターン205が少なくとも1本存在する。この本数は光透過部201の開口部の幅 $\Delta w$ が露光波長の $1/2$ 程度になるように選択される。

【0098】透明基板203に透明膜材料212、微細遮光膜パターン205及びハーフトーン位相シフト204を図5と同様の方法で形成する。さらに、ハーフトーン位相シフト204の上に遮光膜パターン211をEB描画装置で形成する。遮光膜パターン211の内側のエッジはハーフトーン位相シフト204の内側のエッジよりも外側に配置する。

【0099】透明基板203の下方より入射する照明光は微細遮光膜パターン205のある部分でパターンのエ

ッジ方向の偏光が透過し、透明膜材料212の上のハーフトーン位相シフト204のある部分は前記したように5〜20%程度しか透過しない。ハーフトーン位相シフト204には180°の位相シフトが設けられているため、この部分の光の位相は反転する。また、遮光膜パターン211が設けられている部分は完全に遮光されているため、複素振幅は0となる。

【0100】この偏光マスクを透過直後の光の複素振幅透過率は図16(b)のようになる。光透過部201の部分の複素振幅透過率は微細遮光膜パターン205のある部分は複素振幅が0となるため、理論上は点線で示したような透過率分布となるが、微細遮光膜パターン205は露光波長では解像しないため、実際には実線で示したような分布となる。

【0101】微細遮光膜パターン205の外側のパターンとハーフトーン位相シフト204との境界の部分は、ハーフトーン位相シフト204の透過率を制御することにより、図23に示すようにコントラストを向上させることができる。したがって、全体としては解像したいパターンの幅Wのエッジの部分のコントラストの大きな複素振幅透過率となる。

【0102】光強度分布は複素振幅透過率の2乗に比例するため、ウェハ上の光強度は図16(c)のようになる。ハーフトーン位相シフト204でほぼ遮光された部分の光強度は、ネガ型レジストの現像限界より低くなっているため、光透過部201の中Wの部分は現像時に残り、図16(d)に示すネガレジストパターンとなる。図16(d)に示すネガレジストパターンをエッチングしたものが図16(e)に示す回路パターンである。

【0103】このように、開口部の幅 $\Delta w$ が露光波長の1/2程度の微細遮光膜パターン205を含む透明膜材料212と、透過率を制御したハーフトーン位相シフト204及び遮光膜パターン211とを組み合わせることにより、孤立パターンのエッジ部分のコントラストが向上し、分離の優れた高い解像度のパターンを露光することが可能となる。

【0104】図17(a)は図16の偏光マスクの平面図、図17(b)は図16の偏光マスクを原版にして投影露光したときのウェハ上の回路パターンの平面図である。

【0105】図17(a)に示すように、透明基板203には微細遮光膜パターン205を含む透明膜材料212とハーフトーン位相シフト204及び遮光膜パターン211とが形成されている。したがって、透明基板203をそのまま露光すれば、図17(b)に示すようなパターン分離の優れた高い解像度のパターンを露光することが可能となる。

【0106】図18は、本発明の実施例9であり、孤立パターンをポジ型レジストを用いて形成する例である。図18(a)は本発明の偏光マスクの断面図である。図

18(a)の下方より入射する照明光の透過光の複素振幅透過率を、図18(b)に示す。図18(c)はこの偏光マスクを原版として投影露光したときのウェハ上の光強度を示す。図18(d)はこの偏光マスクを原版として投影露光したときのウェハ上のポジレジストパターンの断面図を示す。図18(e)はこの偏光マスクを原版として投影露光したときのウェハ上の回路パターンの断面図を示す。

【0107】図18(a)のWはパターンの露光する光透過部201の中であり、この中に偏光特性を有する導電性の微細遮光膜パターン205が少なくとも1本存在する。この本数は光透過部201の開口部の幅 $\Delta w$ が露光波長の1/2程度になるように選択される。

【0108】微細遮光膜パターン205は透明基板2032にEB描画装置を用いて形成する。ハーフトーン位相シフト204は微細遮光膜パターン205とは別の透明基板2031にEB描画装置を用いて形成され、この部分(光遮光部202)の光透過率は5〜20%程度とする。

【0109】透明基板2032の下方より入射する照明光は微細遮光膜パターン205のある部分でパターンのエッジ方向の偏光が透過し、透明基板2031上のハーフトーン位相シフト204のある部分は前記したように5〜20%程度しか透過しない。ハーフトーン位相シフト204には180°の位相シフトが設けられているため、この偏光マスクを透過直後の光の複素振幅透過率は図18(b)のようになる。光透過部201の部分の複素振幅透過率は微細遮光膜パターン205のある部分は複素振幅が0となるため、理論上は点線で示したような透過率分布となるが、微細遮光膜パターン205は露光波長では解像しないため、実際には実線で示したような分布となる。また、微細遮光膜パターン205の外側には、パターンが存在しないため、複素振幅透過率は100%となる。

【0110】微細遮光膜パターン205の一番内側のパターンとハーフトーン位相シフト204との境界の部分は、ハーフトーン位相シフト204の透過率を制御することにより、図23に示すようにコントラストを向上させることができる。したがって、全体としては解像したいパターンの幅Wのエッジの部分のコントラストの大きな複素振幅透過率となる。

【0111】光強度分布は複素振幅透過率の2乗に比例するため、ウェハ上の光強度は図18(c)のようになる。ハーフトーン位相シフト204でほぼ遮光された部分の光強度は、ポジ型レジストの現像限界より低くなっているため、光透過部201の中W及びその外側のパターンのない部分は現像時に除去され、図18(d)に示すポジレジストパターンとなる。図18(d)に示すポジレジストパターンをエッチングしたものが図18(e)に示す回路パターンである。

【0112】このように、開口部の幅 $\Delta w$ が露光波長の $1/2$ 程度の微細遮光膜パターン205と透過率を制御したハーフトーン位相シフト204とを組み合わせることにより、パターン分離の優れた高い解像度のパターンを露光することが可能となる。また、位相シフト材料を透明基板2031、ハーフトーン材料を透明基板2032に形成した例や、一枚の透明基板の同一面上にハーフトーン位相シフト204と微細遮光膜パターン205を形成した例でも図18と同じ効果が得られる。

【0113】図19(a)、(b)は図18の偏光マスクの平面図である。図19(a)に示すように、透明基板2031にはハーフトーン位相シフト204とマスク重ね合わせマーク210が形成されている。図19

(b)の透明基板2032には微細遮光膜パターン205とマスク重ね合わせマーク210が形成されている。したがって、透明基板2031、2032を重ね合わせで露光する際に、それぞれのマスク重ね合わせマーク210の中心座標を読み取り、重ね合わせ測定装置であらかじめ位置決めしておけば、ハーフトーン位相シフト204と微細遮光膜パターン205との相対的な位置ずれが発生しなくなり、パターン分離の優れた高い解像度のパターンを露光することが可能となる。

【0114】図20は本発明の実施例10であり、孤立パターンをボジ型レジストを用いて形成する例である。図20(a)は本発明の偏光マスクの断面図である。図20(a)の下方より入射する照明光の透過光の複素振幅透過率を、図20(b)に示す。図20(c)はこの偏光マスクを原版として投影露光したときのウェハ上の光強度を示す。図20(d)はこの偏光マスクを原版として投影露光したときのウェハ上のボジレジストパターンの断面図を示す。図20(e)はこの偏光マスクを原版として投影露光したときのウェハ上の回路パターンの断面図を示す。図20(a)のWはパターンの露光する光透過部201の中であり、この中に偏光特性を有する導電性の微細遮光膜パターン205が少なくとも1本存在する。この本数は光透過部201の開口部の幅 $\Delta w$ が露光波長の $1/2$ 程度になるように選択される。

【0115】透明基板203に透明膜材料212、微細遮光膜パターン205及びハーフトーン位相シフト204を図5と同様の方法で形成する。

【0116】透明基板203の下方より入射する照明光は微細遮光膜パターン205のある部分でパターンのエッジ方向の偏光が透過し、透明膜材料212の上のハーフトーン位相シフト204のある部分は前記したように5~20%程度しか透過しない。ハーフトーン位相シフト204には $180^\circ$ の位相シフトが設けられているため、この部分の光の位相は反転する。また、透明膜材料212のパターンのない部分は透過率は100%となる。

【0117】この偏光マスクを透過直後の光の複素振幅

透過率は図20(b)のようになる。光透過部201の部分の複素振幅透過率は微細遮光膜パターン205のある部分は複素振幅が0となるため、理論上は点線で示したような透過率分布となるが、微細遮光膜パターン205は露光波長では解像しないため、実際には実線で示したような分布となる。

【0118】微細遮光膜パターン205の内側のパターンとハーフトーン位相シフト204との境界の部分は、ハーフトーン位相シフト204の透過率を制御することにより、図23に示すようにコントラストを向上させることができる。したがって、全体としては解像したいパターンの幅Wのエッジの部分のコントラストの大きな複素振幅透過率となる。

【0119】光強度分布は複素振幅透過率の2乗に比例するため、ウェハ上の光強度は図20(c)のようになる。ハーフトーン位相シフト204でほぼ遮光された部分の光強度は、ボジ型レジストの現像限界より低くなっているため、光透過部201の巾Wの部分及びパターンのない部分は現像時に除去され、図20(d)に示すボジレジストパターンとなる。図20(d)に示すボジレジストパターンをエッチングしたものが図20(e)に示す回路パターンである。

【0120】このように、開口部の幅 $\Delta w$ が露光波長の $1/2$ 程度の微細遮光膜パターン205を含む透明膜材料212と、透過率を制御したハーフトーン位相シフト204とを組み合わせることにより、分離の優れた高い解像度のパターンを露光することが可能となる。

【0121】図21(a)は図20の偏光マスクの平面図、図21(b)は図20の偏光マスクを原版にして投影露光したときのウェハ上の回路パターンの平面図である。

【0122】図21(a)に示すように、透明基板203には微細遮光膜パターン205を含む透明膜材料212とハーフトーン位相シフト204とが形成されている。したがって、透明基板203をそのまま露光すれば、図21(b)に示すようなパターン分離の優れた高い解像度のパターンを露光することが可能となる。

【0123】図22は図18及び図20の偏光マスクを原版として投影露光したときのウェハ上の孤立パターンの平面図である。

【0124】図23はハーフトーン型位相シフトの原理を示す図である。図23(a)はハーフトーン型位相シフトを形成したマスクの断面図、図23(b)はマスク透過光の複素振幅透過率、図23(c)はマスクを原版にして投影露光したときのウェハ上の光の複素振幅透過率、図23(d)は前記マスクを原版にして投影露光したときのウェハ上の光強度分布を示す。

【0125】図23(a)では透明基板203にハーフトーン位相シフト204をEB描画装置で形成しており、ハーフトーン位相シフト204のある部分は光遮光

部202、ハーフトーン位相シフト204のない部分は光透過部201となる。

【0126】透明基板203の下方より入射する照明光はハーフトーン位相シフト204のない部分で100%透過し、ハーフトーン位相シフト204のある部分は前記したように5～20%程度しか透過しない。ハーフトーン位相シフト204には180°の位相シフトが設けられているため、この部分の光の位相は反転する。

【0127】このマスクを透過直後の光の複素振幅透過率は図23(b)のようになる。光透過部201の部分の複素振幅透過率は100%となるが、ハーフトーン位相シフト204のある部分は前記したように5～20%程度しか透過せず、位相が反転するため、実線で示したような分布となる。

【0128】マスクを原版にして投影露光したときのウェハ上の光の複素振幅透過率は図23(c)のようになる。光透過部201の部分のみの複素振幅透過率は点線部52、光遮光部202のみの複素振幅透過率は点線部53のようになる。光遮光部202と光透過部201は連続しているため、実際には点線部52と点線部53の和の分布となり、実線部51のような透過率分布となる。したがって、ハーフトーン位相シフト204の透過率を調整すれば、ハーフトーン位相シフト204の中央部分に対応するウェハ上の光の複素振幅透過率を0にすることができる。

【0129】光強度分布は複素振幅透過率の2乗に比例するため、ハーフトーン位相シフト204の中央部分に対応するウェハ上の光強度も0となる。よって図23(d)に示すようにウェハ上でコントラストの高い光強度分布を得ることができる。

【0130】図24はマスク重ね合わせマークの一例の詳細図である。透明基板203に内周部マーク2102を形成し、その上にハーフトーン位相シフト204を形成する。その外側に任意の光の位相φの外周部マークを形成する。このようにして、形成したマスク重ね合わせマークを使用すれば、透明基板を2枚使用した偏光マスクで露光するときに、マスク重ね合わせの段取り時間が短縮できる効果がある。

【0131】図25は露光領域に比べて繰返しパターンの長辺の長さlが短い場合の実施例である。この場合は、ハーフトーン位相シフト204の外周部に時微細遮光膜パターン2051、2052、2053を図のように配置する。すると、ハーフトーン位相シフト204の外周部が光透過部、ハーフトーン位相シフト204のある部分が光遮光部となって、パターン分離の優れた高い解像度のパターンを露光することが可能となる。

【0132】図26(a)は4隅が面取りしてある孤立パターンの実施例、図26(b)は4隅が円弧状になっている孤立パターンの実施例である。

【0133】図27は本発明の投影露光装置の実施例で

ある。

【0134】図27(a)は本発明の投影露光装置で、1は照明光である。照明光の形成方法については後で詳細に述べるが、この照明光の部分光である $B_0$ 、 $B_{90}$ 、 $B_{180}$ 、 $B_{270}$ はそれぞれ図に示す直線偏光を有し、偏光マスク2がない場合には投影光学系である縮小レンズ31の瞳3上の照明光11のように輪帯状の帯の上を照射する。この照射光 $B_0'$ 、 $B_{90}'$ 、 $B_{180}'$ 、 $B_{270}'$ はこの瞳上で図に示すような直線偏光になっている。

【0135】本発明の偏光マスク2上には、例えばx方向及びy方向を向いたパターン $1_1$ 、 $1_2$ 、 $1_3$ 、 $1_4$ がEB描画されており、これらのパターンの向く方向に応じた偏光特性を、これらパターンを照射し、透過した光に付与する。偏光マスク2には図1ないし図2に示す各実施例が適用できる。

【0136】即ち、図27(b)に示す $1_2$ に着目すると、図28に示すように、パターンの端 $C_1C_2$ はy方向を向いているので、y方向の直線偏光をほぼ100%透過し、x方向の直線偏光を遮光する。また同様に $C_1C_2$ 、 $C_3C_4$ に囲まれた部分は実効的に $B_{90}$ と $B_{270}$ の指向性を有する照明光が透過することになり、このパターンからの回折光は瞳上の広い範囲(瞳直径に相当する範囲)に広がった光が結像に寄与し、高解像のパターンがウェハ41上の露光チップ領域4に露光可能となる。

【0137】このことは $C_1C_2$ のパターン端面並びにy方向を向いたパターンに対しても同様に、y方向の偏光成分が透過し、x方向は遮光することにより、y方向のパターンを高解像に露光する。このようにパターン依存の偏光特性を偏光マスク2に与え、偏光をうまく使い、それぞれのパターンが高解像に都合の良い指向性の照明光のみを実効的に透過させ、高い解像度の露光を実現する。

【0138】図28は図27(b)の $1_2$ パターンを拡大した図である。L字型孤立パターンであり、微細遮光膜パターン2051、2052がL字型をしており、ハーフトーン位相シフト204が外周を囲んでいる。

【0139】

【発明の効果】本発明の偏光マスク及びそれを用いた露光方法及びそれを用いた投影露光装置を用いることによって、従来用いていた露光装置の投影光学系をそのまま用いて従来の解像パターンに比べはるかに解像度の優れたパターンが露光可能になり、半導体集積回路の性能向上による半導体集積回路技術の大幅な向上、及び半導体集積回路の生産歩留まり向上、並びに半導体集積回路製造設備投資の削減による大幅な経済効果が図れる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施例1による偏光マスクの説明図。

【図2】図1の偏光マスクの平面図。

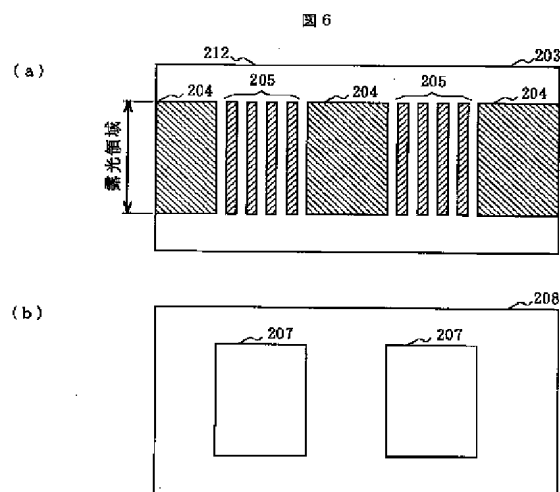
【図3】本発明の実施例2による偏光マスクの説明図。

【図4】図3の偏光マスクの平面図。

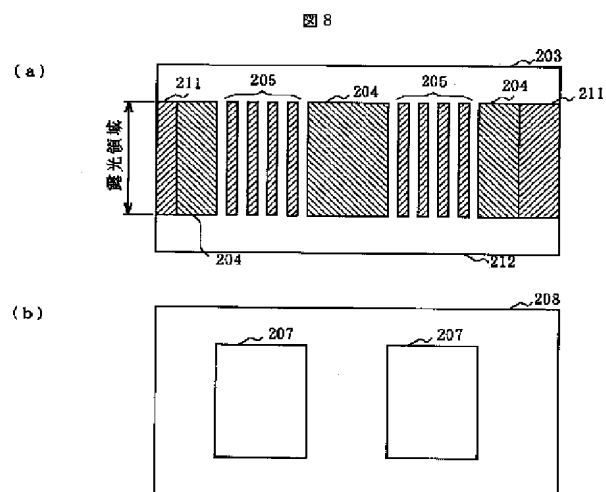
【図5】本発明の実施例3による偏光マスクの説明図。  
 【図6】図5の偏光マスクの平面図。  
 【図7】本発明の実施例4による偏光マスクの説明図。  
 【図8】図7の偏光マスクの平面図。  
 【図9】本発明の実施例5による偏光マスクの説明図。  
 【図10】図9の偏光マスクの平面図。  
 【図11】本発明の実施例6による偏光マスクの説明図。  
 【図12】図11の偏光マスクの平面図。  
 【図13】図9、図11の偏光マスクを原版として投影露光した時のウェハ上の回路パターンの平面図。  
 【図14】本発明の実施例7による偏光マスクの説明図。  
 【図15】図14の偏光マスクの平面図。  
 【図16】本発明の実施例8による偏光マスクの説明図。  
 【図17】図16の偏光マスクの平面図。  
 【図18】本発明の実施例8による偏光マスクの説明図。  
 【図19】図18の偏光マスクの平面図。  
 【図20】本発明の実施例9による偏光マスクの説明図。  
 【図21】図20の偏光マスクの平面図。  
 【図22】図18、図20の偏光マスクを原版として投影露光した時のウェハ上の回路パターンの平面図。  
 【図23】ハーフトーン位相シフトマスクの説明図。  
 【図24】偏光マスクで使用しているマスク重ね合わせマークの説明図。  
 【図25】露光領域に比べて繰返しパターンの長さ1が短い場合の偏光マスクの平面図。

【図26】孤立パターンの平面図。  
 【図27】本発明による偏光マスクを用いた投影露光装置の説明図。  
 【図28】図27に用いる偏光マスクの説明図。  
 【図29】従来の位相シフト法によるマスクの繰返しパターンの説明図。  
 【図30】従来の位相シフト法によるマスクの2次元パターンの説明図。  
 【図31】従来の投影露光装置の照明系の説明図。  
 【図32】本発明による投影露光装置の照明系の説明図。  
 【図33】従来の輪帯照明で得られるパターンの解像状況を示す説明図。  
 【図34】従来のx-y軸に45°方向からの斜入射露光に対するx-y方向のパターンの解像状況を示す説明図。  
 【図35】従来のx-y軸に45°方向からの斜入射露光に対するx-y方向に対して45°の傾きのあるパターンの解像状況を示す説明図。  
 【図36】本発明による露光方法で得られるパターンの解像状況を示す説明図。  
 【符号の説明】  
 201…光透過部、  
 202…光遮光部、  
 203…透明基板、  
 204…ハーフトーン位相シフト、  
 205…微細遮光膜パターン、  
 206…ネガ型レジスト、  
 207…回路形成材料、  
 208…ウェハ基板。

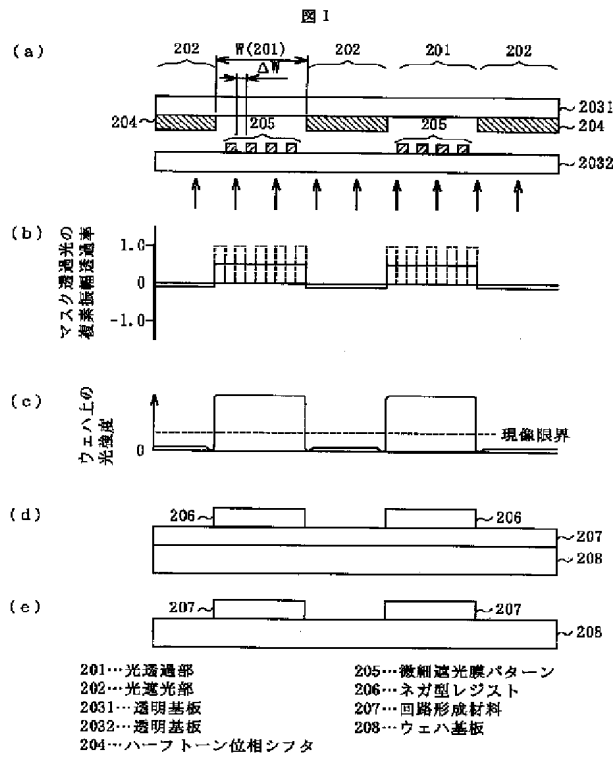
【図6】



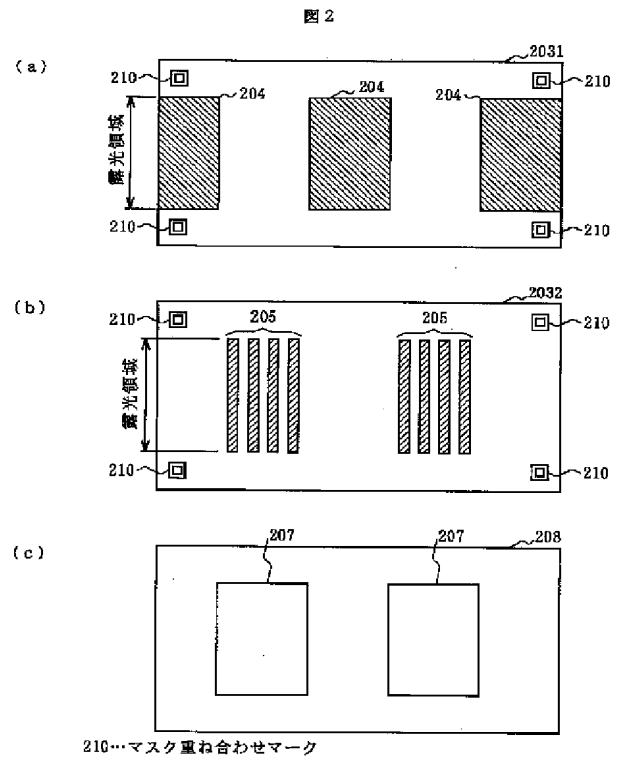
【図8】



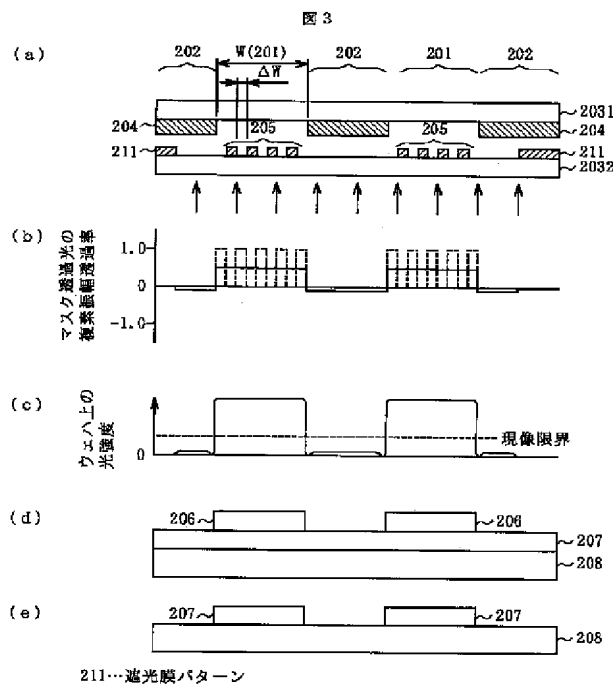
【図1】



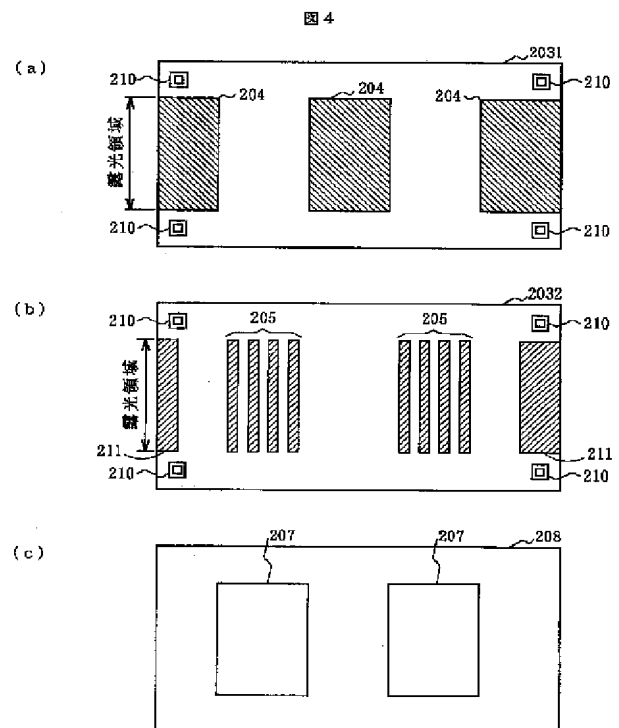
【図2】



【図3】

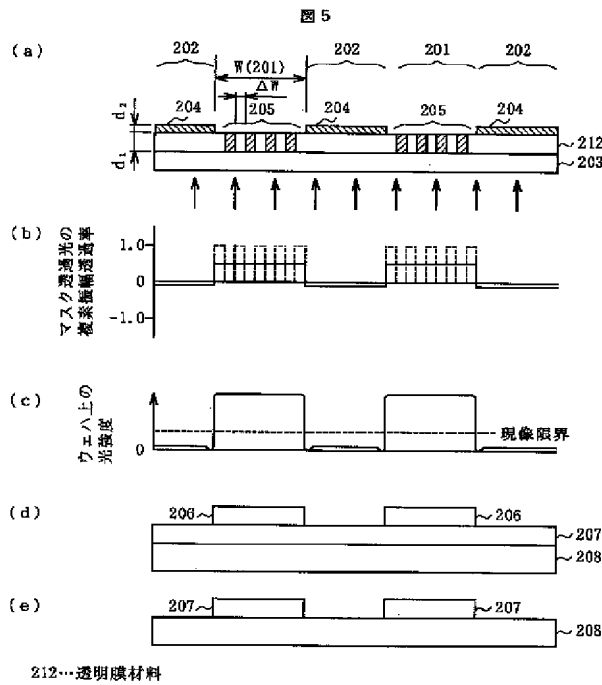


【図4】

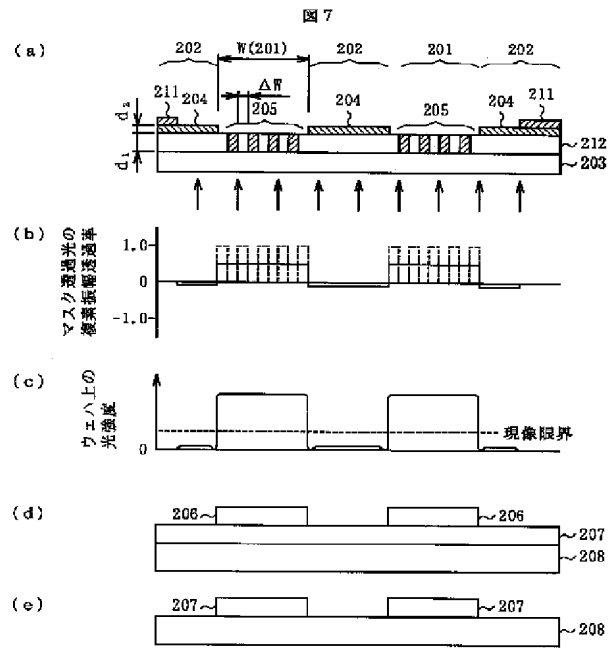




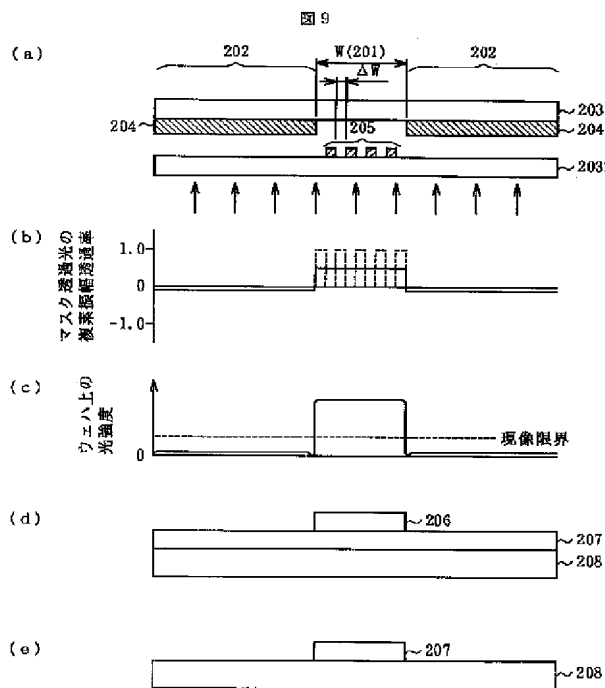
【例5】



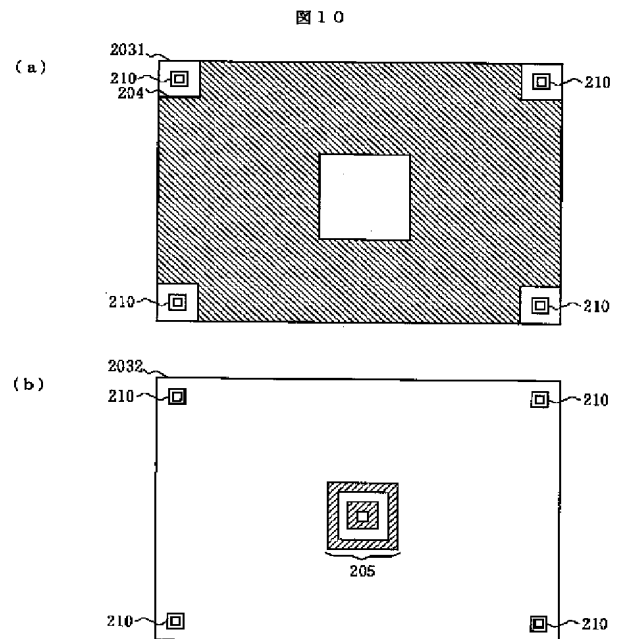
【图7】



【图9】

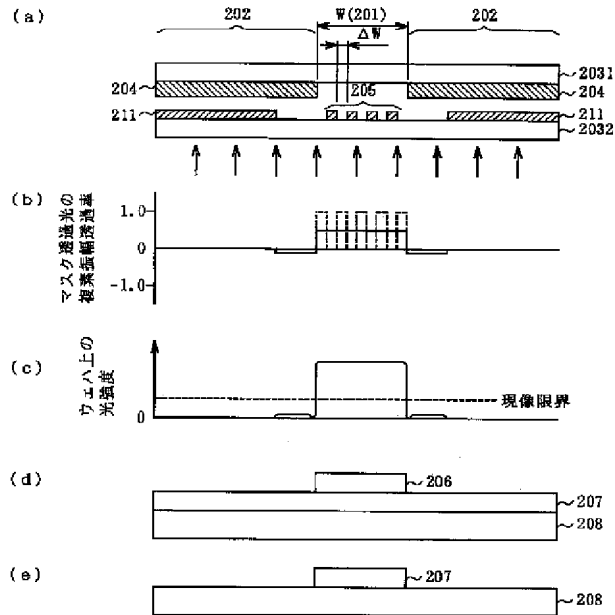


【例 10】



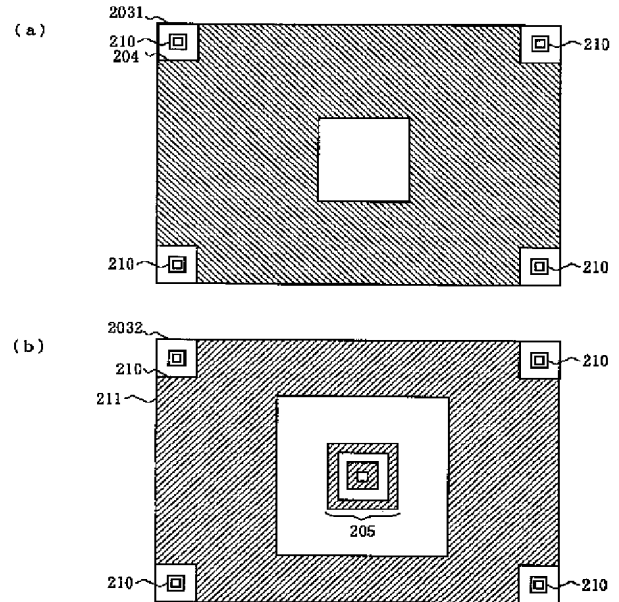
【図 1 1】

图 1-1



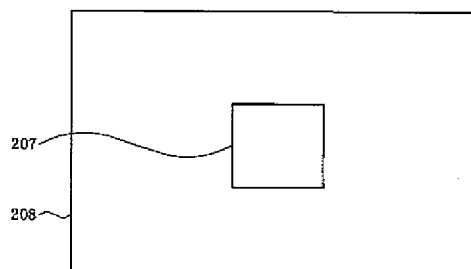
【図 12】

图 12



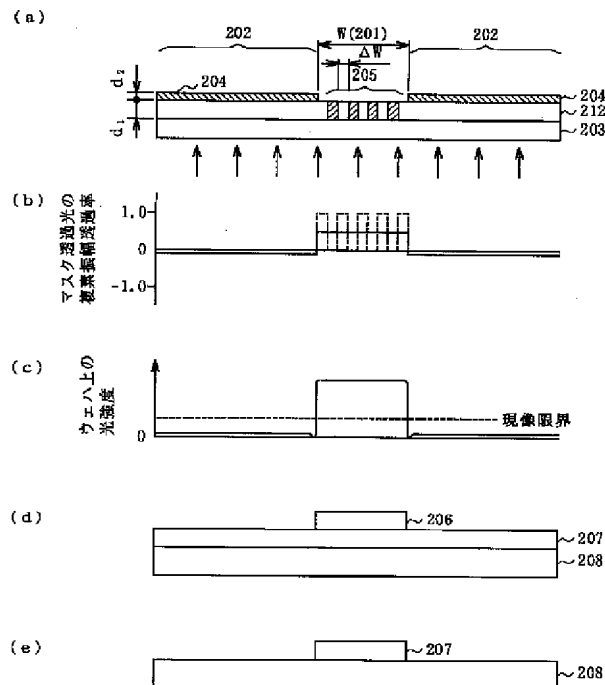
【例 13】

13



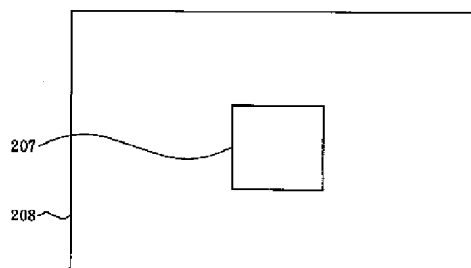
【图 14】

图 1-4

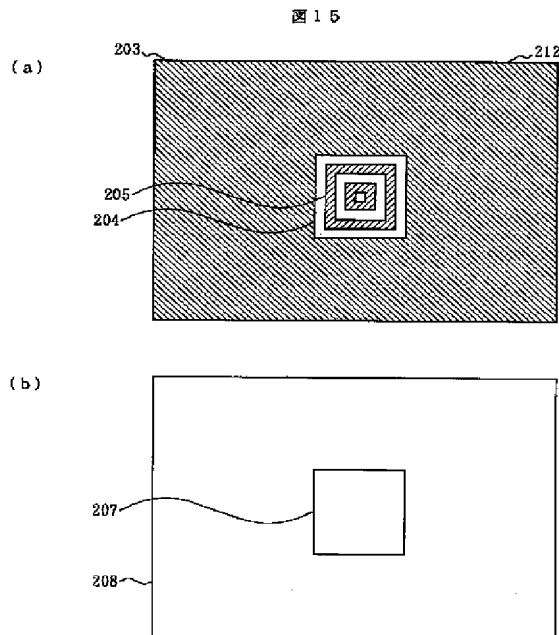


【图22】

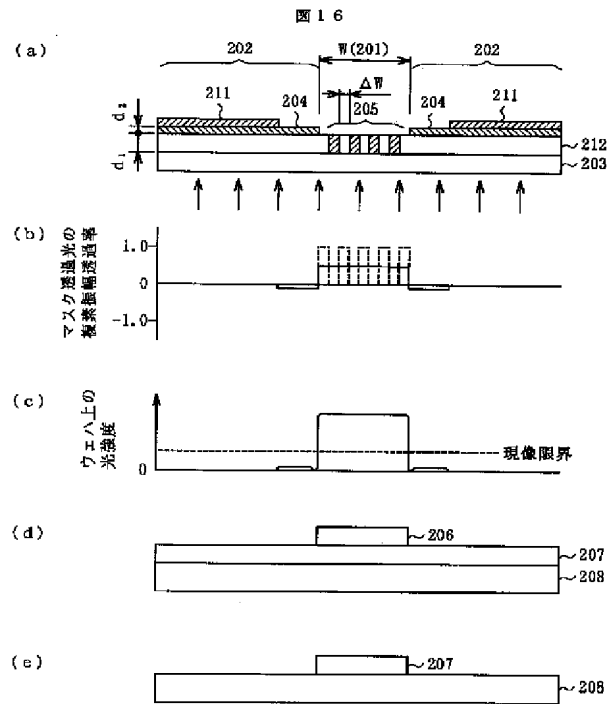
图 2 2



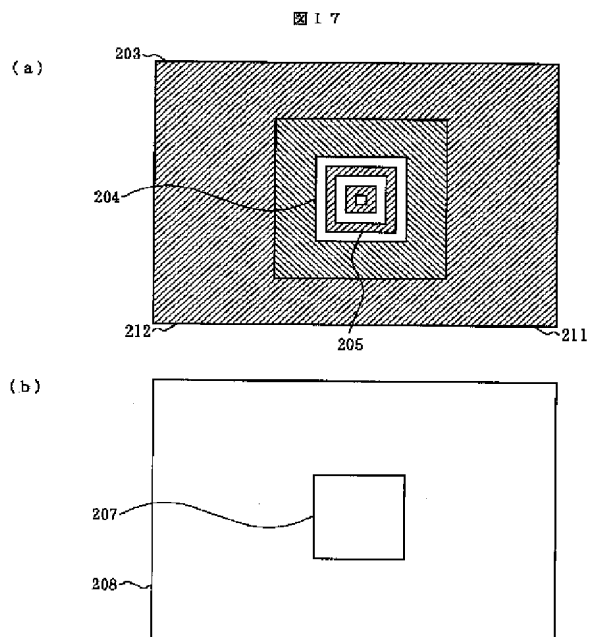
【図15】



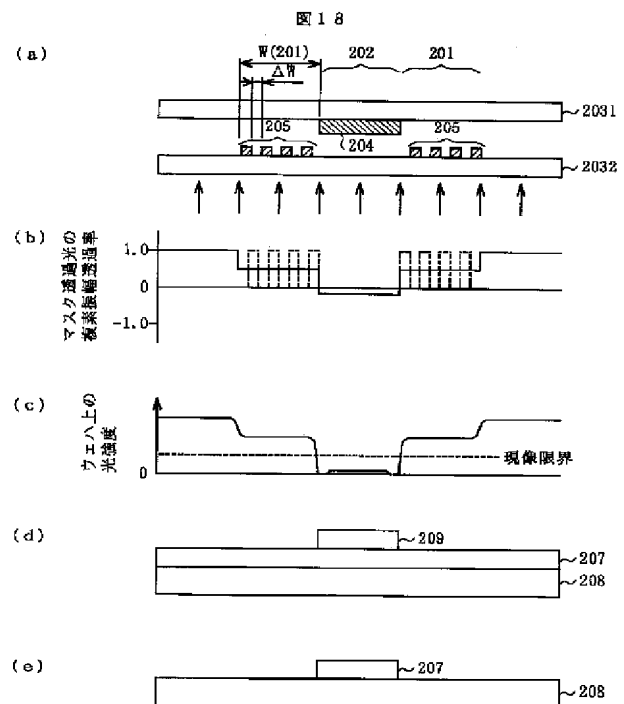
【図16】



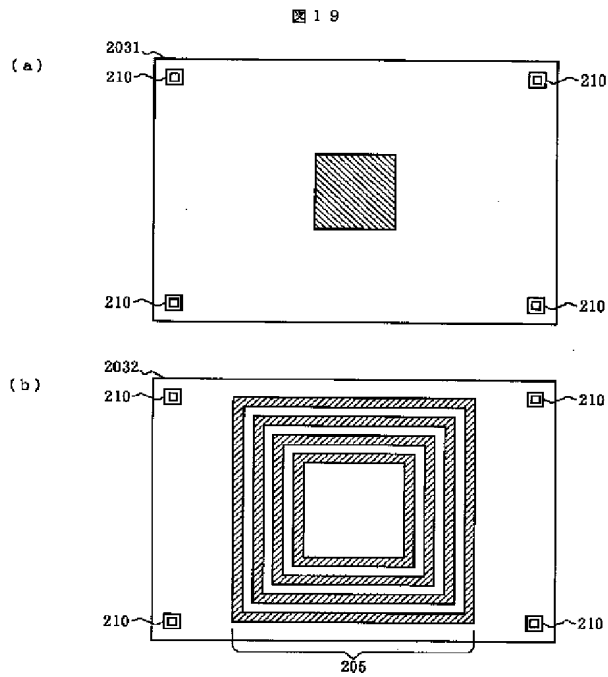
【図17】



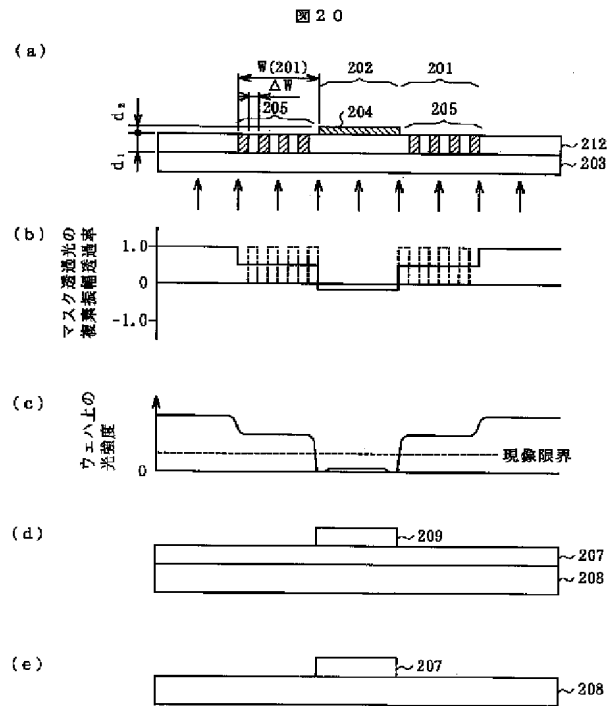
【図18】



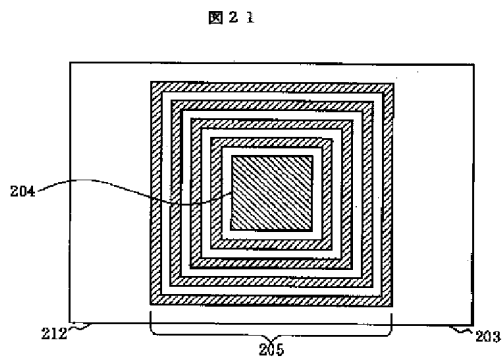
【図19】



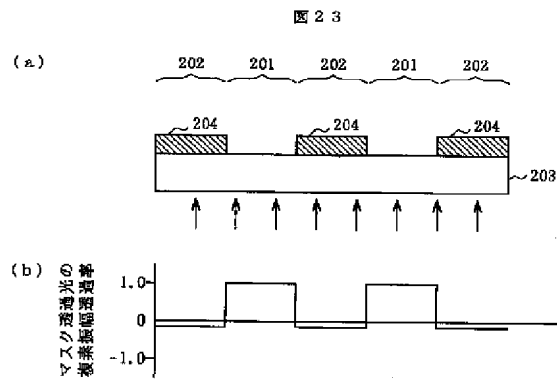
【図20】



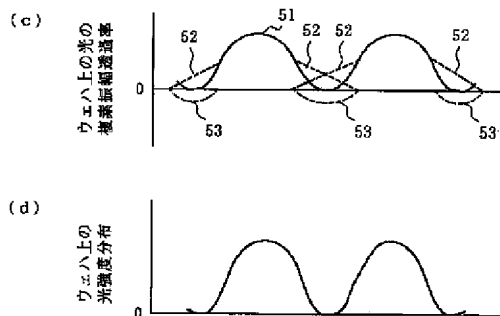
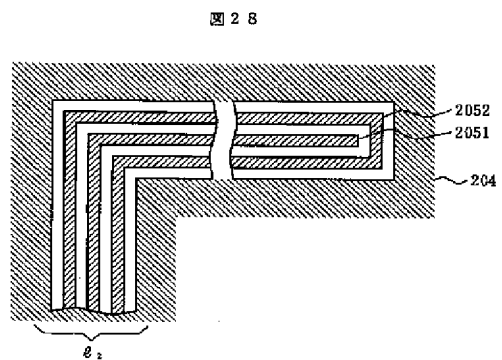
【図21】



【図23】



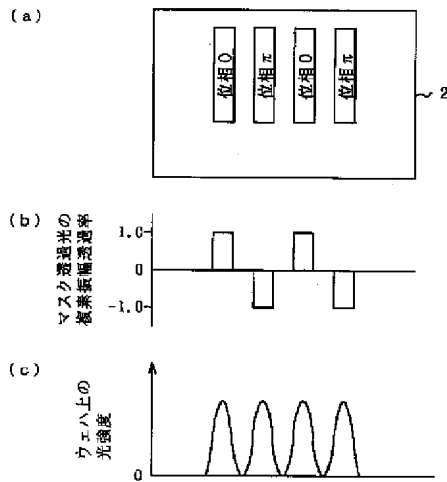
【図28】





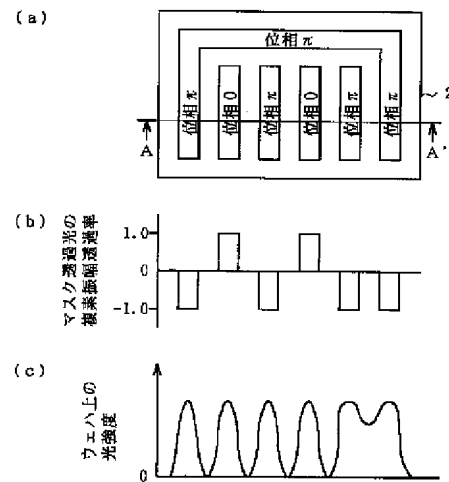
【図29】

図29



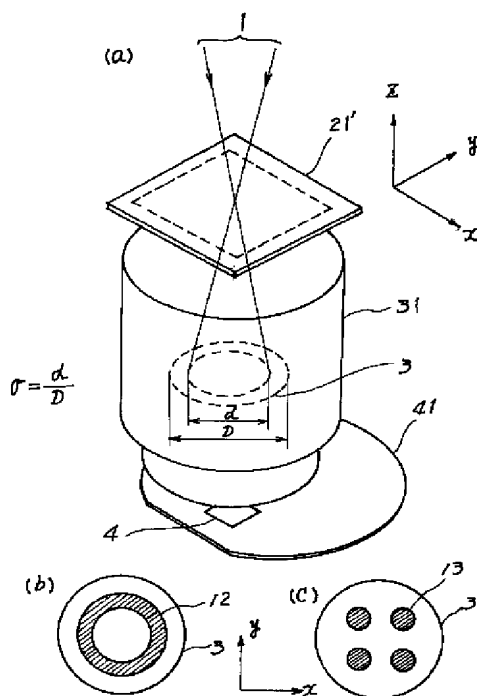
【図30】

図30



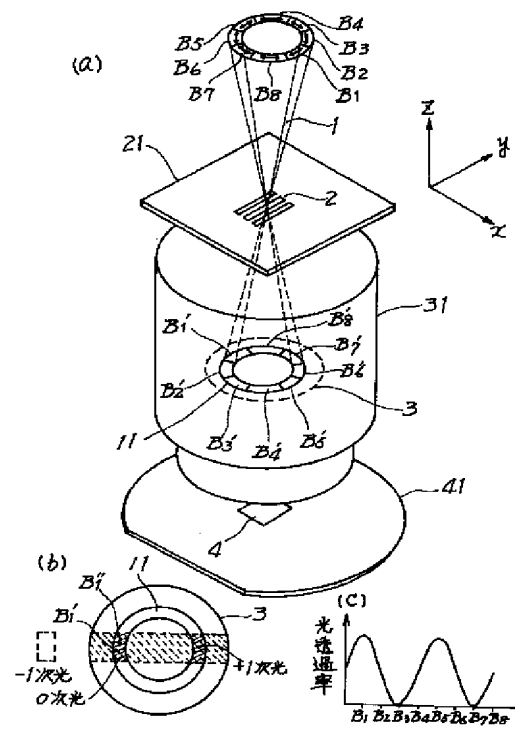
【図31】

図31



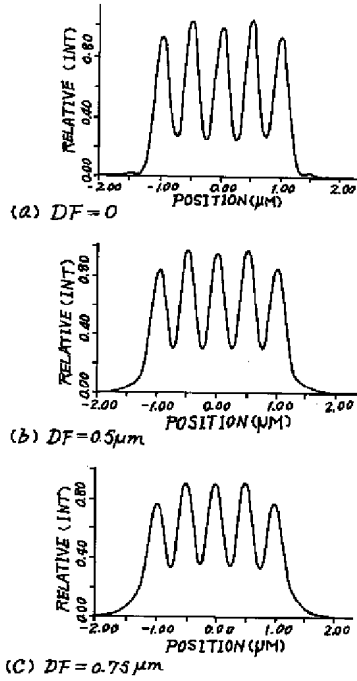
【図32】

図32



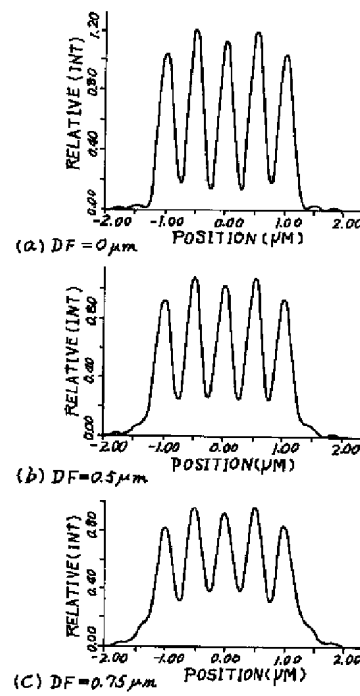
【図33】

図 33



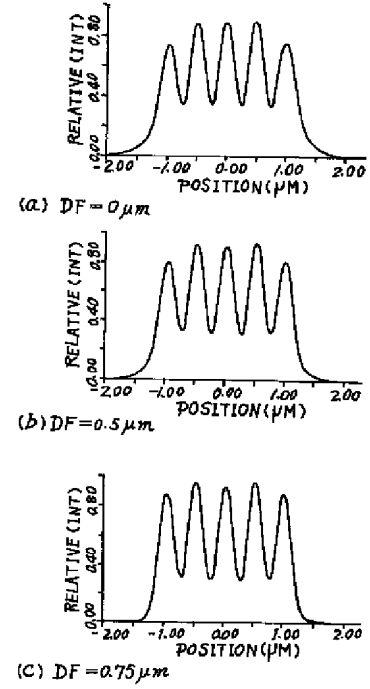
【図34】

図 34



【図35】

図 35



【図36】

図 36

